

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱にあたっては、著作権侵害とならないよう十分に注意ください。

社団法人 電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

学術情報
TECHNICAL REPORT OF IEICE
NS2002-17 (2002-04)

GE-PON に適した動的帯域割当アルゴリズム

吉原 修 太田 憲行 三鬼 準基

日本電信電話株式会社 NTTアクセスサービスシステム研究所

〒261-0023 千葉県千葉市美浜区中瀬 1-6 NTT幕張ビル

E-mail: {yoshi,oota,noriki}@ansl.ntt.co.jp

あらまし 近年 ADSL や FTTH に代表されるブロードバンドアクセスに対する需要が急速に高まっており、一層の高速化、低コスト化が急務となっている。GE-PON(Gigabit Ethernet PON)は高速で経済的な次世代のアクセスシステムとして非常に有望視されており、現在 IEEE802.3 でタスクフォースが結成され、標準化が進行中である。GE-PONにおいて100M~1Gbpsのシェアードアクセスサービスを実現するためには、上りの動的帯域割当(DBA)が必要となる。本稿では、低遅延、高効率、高 TCP スループットを実現する DBA アルゴリズムについて提案するとともに、シミュレーションによりその性能を評価する。

キーワード GE-PON, シェアードアクセスシステム, 動的帯域割当

Dynamic Bandwidth Allocation Algorithm for GE-PON

Osamu YOSHIHARA, Noriyuki OOTA, and Noriki MIKI

NTT Access Network Service Systems Laboratories, NTT Corporation

NTT Makuhari Bldg. 1-6 Nakase, Mihama-ku, Chiba-shi, Chiba 261-0023, Japan

E-mail: {yoshi,oota,noriki}@ansl.ntt.co.jp

Abstract The demand for broadband access like ADSL and FTTH has recently been increasing, and a further speed-up and lower-cost access systems are desired. GE-PON(Gigabit Ethernet PON) is expected as a next-generation high speed, low cost access system, and is being standardized by IEEE802.3ah task force. To provide a shared access service of which peak speed is from 100M to 1Gbps, upstream Dynamic Bandwidth Allocation (DBA) function should be required. In this paper, we propose a DBA algorithm which realizes low delay, high bandwidth efficiency, and high TCP throughput, and show the simulation results to evaluate it.

Keyword GE-PON, Shared Access System, Dynamic Bandwidth Allocation

1. はじめに

近年、ADSL や FTTH 等、ブロードバンドアクセスへの需要が急速に高まっており、低コストで高速なアクセスサービスの提供が期待されている。

GE-PON はイーサネットの技術ベースとした G ビットクラスの高速アクセスシステムを経済的に実現する技術として注目を浴びており、イーサネットの国際標準化団体である IEEE802.3 にて 2001 年 9 月にタスクフォース(IEEE802.3ah)が結成され、2003 年 9 月標準化完了の予定で仕様検討が進められている。

GE-PON において、ピーク 100M~1Gbps のシェアードアクセスシステムを実現するためには、上りの動的帯域割当(DBA)が不可欠である。また、それにより、ユーザ毎の最低帯域保証や遅延によるクラス分け等のきめ細やかなサービスの提供も可能となる。

本稿では、低遅延、高効率、高 TCP スループットを実現し、帯域保証や遅延によるクラス分けが可能な DBA アルゴリズムについて提案し、シミュレーションにより評価する。

2. グラント/リクエスト方式

グラント/リクエスト方式は PON システムにおいて、帯域要求量に応じた動的な帯域割当を可能にするために必要である。図 1 にグラント/リクエスト方式の概略を示す。各 ONU は、バッファ量に基づく要求帯域を「リクエスト(帯域要求)」として OLT に送信する。OLT は各 ONU から送信されたリクエストの情報をもとに、DBA アルゴリズムによって各 ONU 毎

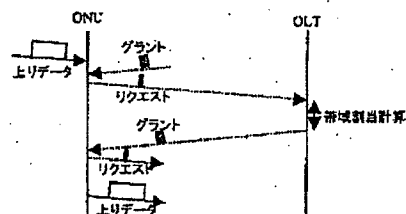


図1. グラント/リクエストのシーケンス

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱いにあたっては、著作権侵害とならないよう十分にご注意ください。

に割当帯域と割当開始時間を計算し、各 ONU に「グラント（送信許可）」を与える。グラントを受信した ONU は、指定された時刻に、指定された時間、次の周期のリクエストと今回送信許可された上りデータを OLT に送信する。

3. グラント/リクエスト方式の要求条件

性能面の要求条件の一つに高い帯域利用効率がある。上りの効率に影響するパラメータには、バースト間のガードバンドやリクエスト等の制御信号用の帯域、DBA アルゴリズムに起因する割当ロス等が考えられるが、本稿では、その中で特に割当ロスの低減を可能とする DBA アルゴリズムについて提案する。

もう一つの性能面からの要求条件として低遅延があげられる。低遅延はボイスサービスやストリーミング映像サービス、TDM サービス等遅延に敏感なサービスの提供にとって重要であるばかりでなく、TCP スループットにも大きく影響を及ぼす。TCP では送信したデータの確応応答を受信して初めて次のデータを送信できる。そのため、PON 区間の遅延が大きい場合、RTT（ラウンドトリップ時間）が大きくなり、TCP スループットが低減する。図2に TCP スループットと RTT の関係を示す。また図1より、上りの遅延を小さくするためには、グラント周期を短く保つ必要があることがわかる。

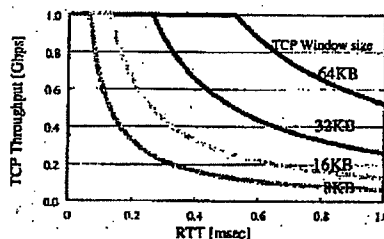


図2. RTTとTCPスループットの関係

4. 提案するアルゴリズム

4.1. コンセプト

4.1.1. 遅延によるクラス分け

前項で述べたように、高 TCP スループットを実現するためには、グラント周期を短く保ち、上りの遅延を低く保てる必要がある。しかし、帯域の割当対象の数が増えるとグラント周期が長くなり、遅延に対する要求条件の厳しくないサービスへの割当帯域のために遅延に対する要求条件の厳しいサービスの遅延が増加する。そこで遅延によるクラス分けを行い、低遅延の割当対象の数を限定することにより、低遅延のサービスクラスに対してグラント周期を短く保つことにした。

本アルゴリズムでは一例として2つのサービスクラスを定義した。

(1) 低遅延クラス

(2) 遅延許容クラス

低遅延クラスは高 TCP スループットが必要なサービスの他、TDM サービス等遅延に対する要求条件が厳しいサービスにも用いられ、最大遅延保証が可能なサービスクラスである。ここで最大遅延とは、ユーザ端末からパッファが空の状態の ONU にパケットが入力してから、そのパケットが ONU

から送出されるまでの時間の最大値を示す。一方電子メール転送等、TCP を利用していても遅延に対して特に制約がないサービスには通常遅延クラスを適用する。低遅延クラスは、短いグラント周期の間に複数の割当対象にグラントを与えるため、いかに割当による帯域ロスを減らし、効率よく MAC フレームを配置できるかがポイントとなる。一方通常遅延クラスでは、一度に多くの帯域を与え、帯域の分割によるロスを減らすことがポイントとなる。

4.1.2. 帯域制御の考え方

本アルゴリズムでは、論理ポートと呼ばれるパケット単位で帯域の制御を行うことを前提としている。論理ポートはユーザとの契約に応じて、ユーザ単位、サービス単位、ONU 単位等フレキシブルな対応付けが可能である。提案するアルゴリズムでは、論理ポート毎に最低帯域保証が可能である。ここでいう最低帯域保証とは、各論理ポートから最低帯域保証値以上の帯域要求があった場合に最低でも保証帯域以上を割当するという意味であり、帯域要求のない論理ポートには帯域を割当てない。割当帯域は、リクエストを提出した ONU 間で最低帯域保証値に基づいて比例配分される。

4.2. 低遅延クラスの帯域割当方式

4.2.1. 複数リクエスト方式

帯域の割当方式の一環として、一度のグラントで割当可能な最大帯域を論理ポート毎に設定し、複数の論理ポートが帯域を要求した場合は上限付きパッファ量をポート毎に順次に割当てるという方式が提案されている[1]。上限付きパッファ量とは、パッファの先頭からある上限値以下で MAC フレームを分割しない最大のデータサイズを言う。上限値は自由に設定できるものとする。この場合、高い帯域利用効率は実現可能であるが、帯域を要求する論理ポートが増えたとそれに応じて各ポートあたりのグラント周期が伸びるため、低遅延を実現することが困難となる。低遅延クラスでは、帯域を要求する論理ポートの数に関わらず、恒常グラント周期を保つことが必要である。グラント周期として、少なくともグラントとリクエストの RTT 分が必要であるため、OLT-ONU 間の最大距離が 20km であるとする、グラント周期の理論的最小値は約 200 μ s となる。低遅延クラスではこの短い

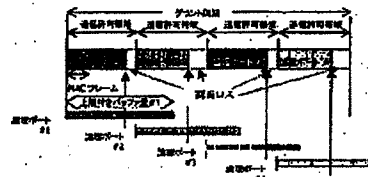


図3. 単一リクエスト方式の上り帯域割当例

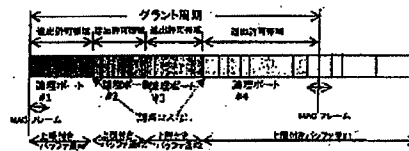


図4. 複数リクエスト方式の上り帯域割当例

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱いにあたっては、著作権侵害とならないよう十分にご注意ください。

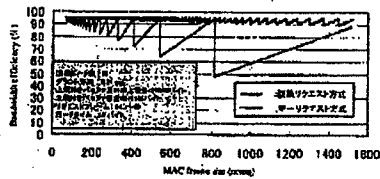


図5. 上り帯域利用効率の比較

ラント周期の中にいかに効率よくMACフレームを配置できるかが重要な課題となる。

リクエスト情報として、上乗付きバッファ量のみを使用し、帯域を要求した論理ポートの数に関わらず短ラント周期を実現しようとした場合(“単一リクエスト方式”と呼ぶ)のより倍率帯域割当例を図3に示す。1ラント周期内で、複数の論理ポートにラントを与えようとする、1論理ポートあたりの帯域が小さくなる。この場合、OLTはバッファ内の個々のMACフレームのサイズの情報を持っていないため、1論理ポートへの割当帯域あたり最大でMTU分の割当ロスが生じ、効率が低下する。

上記の問題を改善するために、“複数リクエスト方式”を提案する。この方式ではリクエスト情報として、ラント周期あたりに割当可能な最大データサイズを上限としたバッファ量(上乗付きバッファ量#1)と、最小データサイズを上限としたバッファ量(上乗付きバッファ量#2)をOLTに伝える。

図4に複数リクエストを採用した場合の上り倍率の帯域割当例を示す。一つの論理ポートしか帯域を要求していない場合は、上乗付きバッファ量#1を割当てる。ラント周期内で複数の論理ポートにラントを与える場合、先頭から順に、リクエストされた2つの情報のうち上乗付きバッファ量#2を採用しそのままラントとして与える。一方最後尾の論理ポートには上乗付きバッファ量#1を採用し、そのうちラント周期内の未割当帯域分をラントとして与える。この場合、最後尾以外の論理ポートはリクエストした帯域をそのまま割当てられるので各割当帯域間の割当ロスがなくなり、ラント周期を短く保ったまま高い帯域利用効率が確保できる。図5により帯域利用効率の計算結果を示す。本計算は1ラント周期あたりに割当可能な最大データサイズを25000バイト、PON用のプリアンプル及びガードタイムは合計10バイト、リクエストフレームは64バイトとして算出した。単一リクエスト方式は論理ポート毎に割当ロスが加算されるため最悪で50%程度の効率となるが、提案方式では、1ラントの割当ロスが最大でもMTU分なので常に、90%以上の高い帯域利用効率を実現できることが分かる。

4.2.2. 帯域割当量の決定

MACフレームは可変長であるため、帯域割当を精度よく行うためには、既送信データ量の累積値をもとに、次周期の帯域割当を決定する必要がある。本アルゴリズムでは、ある周期の実際の送信データサイズと、各論理ポートの最低保証帯域に基づいた理想的割当量の差分を過剰割当量として記憶し、次周期の理想的割当量の算出に反映させる。あるラント周期における実際の送信データ量($bw_real_{j,k}$ 、 j :論理ポート番号、 k :周期)と理想的割当データ量($bw_ideal_{j,k}$)の差分を過剰割当データ量($bw_add_{j,k}$)と定義する。ここで、理想的割当データ量とは、1ラント周期の最大帯域(bw_max)を当該周期で帯域を要求した論理ポートの最低保証帯域(bw_min)比で比例配分した値($bw_prop_{j,k}$)から前周期の過剰割当データ量($bw_add_{j,k-1}$)を差し引いた値であり、 $bw_add_{j,k}$ 、 $bw_real_{j,k}$ 、 $bw_prop_{j,k}$ はそれぞれ次式で表さ

れる。

$$bw_add_{j,k} = bw_real_{j,k} - bw_ideal_{j,k} \quad (1)$$

$$bw_ideal_{j,k} = bw_prop_{j,k} - bw_add_{j,k-1} \quad (2)$$

$$bw_prop_{j,k} = bw_max \cdot \frac{bw_min_j}{\sum_{j=1}^N bw_min_j} \quad (3)$$

ここで、 $R_{j,k}$ は論理ポート j が周期 k に要求した帯域である。

低遅延クラスの帯域割当量の決定は、理想割当データ量($bw_ideal_{j,k}$)をパラメータとして0以下なら帯域を割当てず、0より大きければ、“上乗付きバッファ量#2”を割当てる。つまり、低遅延クラスの論理ポートは前周期までに過剰に帯域を割当てられている場合を除き、帯域を要求した周期では少なくとも上乗付きバッファ量#2分の割当が確保されている。帯域割当の待ち時間の公平を期するため、帯域割当として、三免らにより提案されている2つのカウンタの排他的論理和をとった値を採用する方式[2]を適用する。

4.3. 通常遅延クラスの帯域割当方式

通常遅延クラスの場合、低遅延を追求する必要がないため、上乗付きバッファ量#1のみを使った単一リクエスト方式を採用する。

4.2.2項にて述べた方式に基づいて、 $bw_ideal_{j,k}$ を算出する。そこで、低遅延クラス、通常遅延クラス双方の中から、今周期に帯域を要求し、かつ $bw_ideal_{j,k}$ が0より大きい論理ポートを選択し、その中から、前周期までの保証帯域あたりの過剰割当データ量($bw_add_{j,k-1}$)が最も少ない論理ポートを選択し、余剰帯域を上限とした上乗付きバッファ量#1を割当てる。割当後もまだ余剰帯域が残っている場合は、その論理ポートを先頭とし、番号順に上乗付きバッファ量#1を割当てていく。

本方式により、各論理ポートに十分なバッファがある場合、余剰帯域は一つの論理ポートにまとめて割当てることができる。

一般に一度に割当てるデータ量を減らし、割当てる頻度を増やせば遅延は低減されるが、帯域利用効率は低下する。一方、一度に割当てるデータ量を増やし、割当てる頻度を減らせば、帯域利用効率は上がるが、遅延は増大する。提案した方式では、低遅延クラスは前者を、通常遅延クラスでは後者を指すことにより、低遅延と高帯域利用効率の双方を実現させている。

4.4. 最低帯域の保証

4.2.2項の(1),(2)式より、

$$bw_add_{j,k} = \sum_{i=1}^N bw_real_{i,k} - \sum_{i=1}^N bw_prop_{i,k} \quad (4)$$

となる。さらに、全論理ポートについて両辺の和をとると、(3)式より、

$$\sum_j bw_add_{j,k} = \sum_j \left(\sum_{i=1}^N bw_real_{i,k} - \sum_{i=1}^N bw_prop_{i,k} \right)$$

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱いにあたっては、著作権侵害とならないよう十分にご注意ください。

$$= \sum_{k=1}^n (\sum_{j=1}^N bw_real_{jk} - bw_max) \quad (5)$$

となる。ここで各論理ポートに対して十分なデータの流入があり、 $\sum_{j=1}^N bw_real_{jk} = bw_max$ となる条件下では、

$\sum_{j=1}^N bw_add_{jk} \rightarrow n$ となる。さらに各 bw_add_{jk} は 0 に近づくようにフィードバックがかかるため、周期 n に関わらず以下の有限な値をとる。

$$bw_max - (N-1) \leq bw_add_{jk} \leq bw_max \quad (6)$$

ここで、 N は論理ポート数である。その結果、(4),(6)式より

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{k=1}^n bw_real_{jk}}{n+1} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{k=1}^n bw_prop_{jk}}{n+1} \quad (7)$$

となり実際の送信データ量の累積値は、最低保証帯域比で比例配分した値に漸近することがわかる。

5. シミュレーション結果

提案した DBA アルゴリズムのシミュレーション結果を示す。

図6に遅延によるクラス分けについてのシミュレーション例を示している。最大遅延時間とは、データフレームが入力してから OLT に向けて出力されるまでの時間の最大値である。ただし、データフレーム入力時に既にバッファ内に蓄積されていたフレームが送出されるまでの待ち時間は含んでいない。シミュレーションに使用したパラメータは MAC フレームサイズは 1500 バイト固定、低遅延クラスのグラント周期は 0.23ms、上限付きバッファ量 #1, #2 の上限値はそれぞれ 27600 バイト、1500 バイトとした。帯域要求をしている論理ポートは、低遅延クラスが 4 ポート、通常遅延クラスの論理ポートが 16 ポートである。リクエストは論理ポート毎に 64 バイト長の MAC コントロールフレームにより運ばれ、PON 用のプリアンプおよびガードタイムは合計 10 バイトとした。各 ONU への入力は 1Gbps の連続信号を仮定している。低遅延クラスの最大遅延時間は 0.45ms-0.76ms に収まっているのに対し、通常遅延クラスは 3ms-7ms と遅延が大きくなっているのがわかる。低遅延クラスで一定間隔で最大値をとっているのは、それまでの過剰な到着を調整するため調整が行われない期間が存在するためである。

図7に最低保証帯域に基づく帯域割当のシミュレーション例を示す。それぞれの最低保証帯域は、論理ポート #1 が 400Mbps、#2 が 300Mbps、#3 が 150Mbps、#4 が 50Mbps であり、#1-#3 が低遅延クラス、#4 のみが通常遅延クラスである。縦軸は、各論理ポートのスループットの累積平均を示している。グラント周期は 0.22ms とした。その他の条件は図6と同様である。低遅延クラス、通常遅延クラスとも最低保証帯域比で累積帯域が配分されていること、及び 20ms 程度で割当帯域の目標値に収束していることがわかる。

図8に TCP スループットのシミュレーション例を示す。最大ウィンドウサイズを 60kbytes としたスロースタートアルゴリズムを適用している。それぞれの最低保証帯域は論理ポート #1 が 450Mbps、#2 が 300Mbps、#3 が 150Mbps であり、すべて低遅延クラスである。論理ポート #3 には約 100ms 間隔

で断片的にデータ入力があり、1回のデータ入力は約 50ms 間隔で送るものとした。グラント周期は 0.22ms とした。TCP スループットは 20 周期毎(約 4.4ms)の平均値である。図8の結果から、他ポートとの帯域共有時にも負荷に応じてタイムリに帯域の配分ができていことがわかる。

6. 結論

GE-PON において、低遅延、高効率、高 TCP スループットを実現し、また最低保証帯域に基づく帯域の公平配分を可能とする動的帯域割当アルゴリズムを考案し、シミュレーションによりその効果を示した。

謝辞

本研究にあたり、日頃からご指導、ご鞭撻を賜りました NTT アクセスサービスシステム研究所アクセスサービスネットワーク推進プロジェクト藤原マナー、安藤リナに感謝致します。

文献

- [1] G.Kramer, B.Mukherjee, G.Pesavento, IPACT: A Dynamic Protocol for an Ethernet PON (EPON), IEEE Communications Magazines, pp.74-80, February 2002.
- [2] 二見雄基, 青柳慎一, 上田裕巳, 渡辺隆市, パッシブダブルスター光アクセスシステムにおけるシニアドアクセス方式の提案, 電子情報通信学会論文誌(B), vol.J84-B, no.9, pp.1578-1586, Sep.2001.

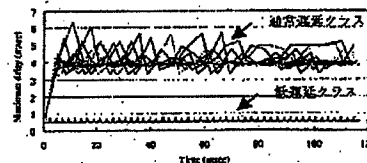


図6. 最大遅延時間

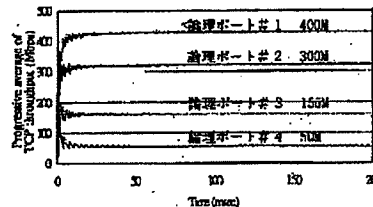


図7. スループットの累積平均

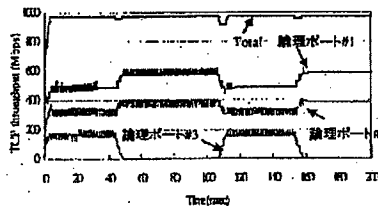


図8. TCPスループット

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
 取扱にあたっては、著作権侵害とならないよう十分にご注意ください。

複写される方へ

本誌に掲載された著作物を複写したい方は、(社)日本複写センターと包括複写許諾契約を締結されている企業の従業員以外、図書館や著作権者から複写権等の行使を受けている次の団体から許諾を受けて下さい。著作権の転載・翻訳のような複写以外の許諾は、直接本会へご連絡下さい。

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 日本坂ビル 学術著作権協会
 TEL: 03-3473-5618 FAX: 03-3473-5619 E-mail: naka-juu@mjhiiglobe.ne.jp

アメリカ合衆国における複写については、次に連絡して下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.
 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
 Phone: +1-978-750-8400 FAX: +1-978-750-4744 URL: <http://www.copyright.com>

Notice about photocopying

In order to photocopy any work from this publication, you or your organization must obtain permission from the following organization which has been delegated for copyright fee clearance by the copyright owner of this publication.

Except in the USA

Japan Academic Association for Copyright Clearance (JAACC)
 5-41, Akenaka 9-chome, Minato-ku, Tokyo 107-0053 Japan
 TEL: +81-3-3473-5618 FAX: +81-3-3473-5619 E-mail: naka-juu@mjhiiglobe.ne.jp

In the USA

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC)
 222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA
 Phone: +1-978-750-8400 FAX: +1-978-750-4744 URL: <http://www.copyright.com>



電子情報通信学会技術研究報告 信学技報 Vol.102 No.20
 2002年4月12日発行

IEICE Technical Report

© 電子情報通信学会 2002

Copyright: © 2002 by the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE)

発行人 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

代表人 電子情報通信学会 事務局長 家田 信明

発行所 東京都港区芝公園3丁目5番8号

代表人 電子情報通信学会 電話 (03)3433-6691 FAX (03)3433-6659
 E-mail: office@ieice.org 郵便振替口座 00120-0-35300

The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers,
 Kikai-Shinko-Kaikan Bldg., 5-8, Shibakoen 3 chome, Minato-ku,
 TOKYO, 105-0011 JAPAN

本技術研究報告に掲載された論文の著作権は (社) 電子情報通信学会に帰属します。

Copyright and reproduction permission: All rights are reserved and no part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopy, recording, or any information storage and retrieval system, without permission in writing from the publisher. Notwithstanding, instructors are permitted to photocopy isolated articles for noncommercial classroom use without fee.

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱いにあたっては、著作権侵害とならないよう十分にご注意ください。

社団法人 電子情報通信学会
THE INSTITUTE OF ELECTRONICS,
INFORMATION AND COMMUNICATION ENGINEERS

技術情報
TECHNICAL REPORT OF IEICE
TR2003-24 (2003-05)

IEEE802.3ah における標準化動向とシステム構築上の課題

村上 謙 横谷 哲也 山中 秀昭 大島 一徳 菊地 克昭

三菱電機 情報技術総合研究所 〒247-0056 神奈川県鎌倉市大船 5-1-1

E-mail: {murakami, yokotani, hideaki, oshima, kikuchi}@isl.melco.co.jp

あらまし IEEE802.3ah (通称 EFM: Ethernet in the First Mile) タスクフォースでは、ギガビットのイーサネットベース PON (GE-PON: Gigabit Ethernet based Passive Optical Network) の標準化が進められており、2004年6月の標準化に向けて、2003年5月現在、Draft 7.32 をリリースしている。GE-PON に関する EFM での標準化の主な範囲は、PMD (Physical Media Dependent)、RS (Reconciliation Sublayer)、MPCP (Multi Point Control Protocol)、および OAM (Operations, Administration and Maintenance) であり、既存の IEEE 標準 802.3 への Amendment という形で標準化を進めている。本稿で EFM の標準化動向を述べた後、GE-PON システム構築に向けた課題について概論する。

キーワード IEEE802.3ah, GE-PON, EFM

Status toward standardization in IEEE802.3ah and items on the construction of GE-PON system

Ken MURAKAMI, Tetsuya YOKOTANI, Hideaki YAMANAKA,
Kazuyoshi OSHIMA and Katsuaki KIKUCHI

Information Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corp., 5-1-1 Ofuna, Kamakura, Kanagawa, 247-0056 Japan

E-mail: {murakami, yokotani, hideaki, oshima, kikuchi}@isl.melco.co.jp

Abstract The IEEE802.3ah (EFM: Ethernet in the First Mile) task force plans to make a standard of GE-PON in June 2004, and has published the draft 7.32 in March 2003. The scope of EFM includes PMD (Physical Media Dependent), RS (Reconciliation Sublayer), MPCP (Multi Point Control Protocol) and OAM (Operations, Administration and Maintenance). The specifications of these protocols are defined as an amendment to the existing IEEE802.3 standard. In this paper, we mention the status of EFM toward the standard and summarize the items on the construction of GE-PON system in the access network.

Keyword IEEE802.3ah, GE-PON, EFM

1 はじめに

光ネットワークを介して複数加入者施設 (ONU: Optical Network Unit) と 1 つの光側装置 (OLT: Optical Line Terminal) とに接続する PON (Passive Optical Network) は、数従光ファイバを簡便で、かつ低コストで構築できるという特長があり、全光化光アクセスネットワークの構築となると考えられる[1]。この PON において、Ethernet フレームを基本としてギガビット/秒のデータ転送を行う GE-PON の標準化が、IEEE802.3ah タスクフォース (以下、EFM と呼ぶ) で進められている[2]。PON に Ethernet フレームを適用するメリットとして、

- (1) すでにある光ネットワークに、光ファイバも普及している Ethernet を適用することにより、安価なアクセスネットワークを構築できること
- (2) 広く普及している IP (Internet Protocol) 通信を効率的に転送できること
- (3) ネットワークスイッチングを行うためプロトコル的にシンプルであり、ツリとジャンプも少なく、

簡便なネットワーク管理が可能であること

などが挙げられる。このような理由から、特に光ファイバネットワークの需要が高い FTTN (Fiber To The Node) への GE-PON の適用が注目される。

本稿では、GE-PON の標準化における EFM の標準化動向を 3) に示した後、4) において今後の GE-PON の展開を光アクセスネットワークにおけるシステム構築に向けた課題について概論する。

2. GE-PON 概要

GE-PON は、従来の 802.11n ブリッジアクセス[3]をベースとしており、物理的には 1 つの PON に複数のブリッジポートを接続するため、論理リンクと呼ばれる仮想的なブリッジポートを導入している。これにより、PON にブリッジ機能を付与することなく、1 つの ONU で同一 PON に接続されるユーザ間の通信が可能となる。図 1 に GE-PON のアーキテクチャを示す。図 1 では、1 つの ONU に 1 つの論理リンクが存在する様子を示しているが、複数の論理リンクを 1 つの ONU に設

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱にあたっては、著作権侵害とならないよう十分にご注意ください。

利用時の Ethernet フレーム構成を図 1 に示す。

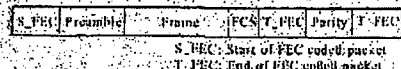


図 3 FEC適用時のEthernetフレーム構成

現在、RSの規定にはお断りしている。詳細は、EPMドラフト1.732の65章に記載されている。

3.3. MPCPの動向

NEPCの広まらなかったのはEFMが当初からほとんど
とめられていた。1992年3月大会においてペー
スイスが承認されてからは、ONUあたりのEID(注
つづけて)の数を減らし、中とする事で合意。
ONU自動検出時の検出にバックアップ (Backup)
Random Delay、前者の2者を減らし、Random Delayで
対応する中心に移動されてきた。

4. 次に示すように、IMPCFで、GATEメッセージによるグラント操作と、REPORTメッセージによるリポート操作により、リアルタイム制御を行う。GATEメッセージには最大クワッドのアドレスが格納されており、REPORTメッセージには最大クワッドのアドレスを格納している。これらのメッセージは論理アドレスにより送りされる。図17では、GATEが受信するGATEメッセージの内容を正に、リアルタイムグラント操作を意味する。

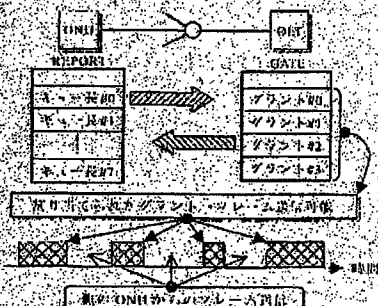


図 4 トリアクセス制御

またMP3でL3、Auto Discoveryと呼ばれる手順により音源リンクの作成/解除処理を行う。Auto Discovery手順により、ONUのPlug&Playが実現できる。例えば、以下のように、音源リンクを設定、ONUに格納される(ワン、リソース等)を候補として行われ、

PON 上で融合する確率を抑えるため、Random Delay
メカニズムが適用される。ONOFF グラントの開始時
刻からある遅延時間後に、REGISTER REQ. メッセージ
を送信する。この遅延時間は ONOFF 内部で発生させる。

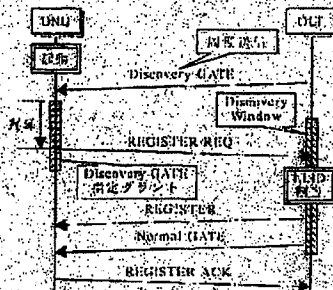


図 3 論理リンク検出禁止シーケンス

さらに MPEP 部にラウンドトリップを仕切り、MPEP でのラウンドトリップと、ONU と OLT からのラウンドトリップ (RTT: Round-Trip Time) の必要量を正確に把握できる。ここで示した RTT を上りダウン方向に適用することで、効率的なデータ転送が可能となる。OLT および ONU 側それぞれ 32 ビットのカウンタを持つ回路に示すように、OLT のカウンタがラズリ、ONU のカウンタがスレーブとして動作し、カウンタ値を上位層および REPORT で通知することにより OLT において RTT を算出する。

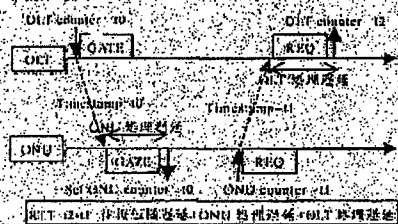


図 6 AIPUPにおけるレンジング

現在、MPCP の規定はには終結している。詳細は「IBM ジャーナル」732 の 84 頁に記載されている。

3.4. DAMの動向

OAMでは、MACアドレスと順送りをOAMに使用
するリアンブルOAMと、OAM用のフレームを用い
るフレームOAMの2案において議論が行われ、2002
年5月会合において、フレームOAMとすることで合
意された。

主なDAMの機能を図 3 に示す。

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱いにあたっては、著作権侵害とならないよう十分にご注意ください。

(1) EFM 標準範囲内での課題

ギガビットイーサネットネットワークには必須の事項であるが、EFM標準の範囲から削られている事項。

- (a) OAM Client における誤検出/検定およびルーパックの通知方法の相違
- (b) ONU プロビジョニングの相違

(2) EFM 標準範囲外での課題

EFM 標準には含まれていないが、運用上規定すべき事項。

- (a) MAC Control Client における GATE/REPORT の生成および解釈方法の相違
- (b) クラスタユーザ使用方式の相違
- (c) サイバリアの相違
- 以下では各課題の詳細を述べる。

4.1 EFM 標準範囲内での課題

4.1.1 OAM Client 処理

(1) Critical Link イベントの詳細化

3.3で述べた Critical Link イベントには、Link Fault、Dying Oup、Critical Event の3つが規定されているが、具体的な動作内容はEFMの範囲外とされている。しかしながら、実際の運用では、具体的な動作と対応する Critical Link イベントを処理する必要がある。

Link Fault の例

- ・ LOS (Loss Of Signal) の Link Fault
- ・ 誤検出/検定時 (Dying Oup)
- ・ 誤検出/検定時 (Critical Event)

(2) 詳細の相違点

① ①、具体的な動作そのものの規定も必要である。詳細は運用方針/規格を明確化することにより、ベンダー間での解釈相違のばらつきを減らす必要がある。例として、On-PON 検出の検定も考慮される必要がある。例えば、②に示した MAC のブリッジングにおける CRC エラーや、OLT において保持する論理リンク以外からパケットを受信する場合などである。

(3) ループバック制御の実施方法

② ②、ループバック制御にも運用がある。ループバック制御の制御は Loopback Control OAM フレームで実現できるが、ループバック中に転送するフレームについては、EFM では何も規定しない。さらに EFMD ①、②に示すように、ループバックの Insert 点/ Drop 点は OAM Client としているのに対し、Drop 点は OAM サブレイヤとしている。Insert 点/ Drop 点が異なるレイヤに存在する点、ループバックフレームの内部チェックや誤検出/検定が困難となる、検定性検査のためには少なくとも Insert 点/ Drop 点を一致させ、挿入したループバックフレームを正しく取り返されているかを検定する必要がある。



図 4-1 EFM 標準のループバック Insert 点/ Drop 点ループバック制御方法の例

- ・ Insert 点/ Drop 点を OAM Client に一致させる。
- ・ ループバックフレーム内容を規定する (フレームごとに異なるフィールドを設ける)。
- ・ Insert 点での送信ループバックフレーム数と Drop 点での受信ループバックフレーム数から損失フレーム数を算出する。
- ・ Insert 点での送信ループバックフレーム内容と Drop 点での受信ループバックフレーム内容から内部エラーフレーム数を算出する。

4.1.2 ONU プロビジョニング

ONU を動作可能にするためには、Auto Discovery による検出が完了した後に、例えば OAM の Link イベントに関するウィンドウサイズや間隔などの動作パラメータを設定する必要がある。このような ONU のプロビジョニングを OLT から行うための手順が必要となるが、EFM での OAM 規定では、設定コマンドはサポートしないこととなっている。

ONU プロビジョニング処理方法の例

- ・ Organization Specific OAM フレームを使う。
- ・ プロビジョニング項目ごとにフレームフォーマットを規定する。
- ・ 設定情報に応じて ONU に設定されたものを検出するための誤り出し処理も規定する。

4.2 EFM 標準範囲外での課題

4.2.1 MAC Control Client 処理

3.3で述べた GATE および REPORT メッセージの内容は MAC Control Client によって決定される。つまりよりアクセス制御の実現方法は MAC Control Client の実装に依存する。

② ②に示すように、MAC Control Client は EFM 標準の範囲外である。異なる MAC Control Client を実装した ONU が同一 PON に接続された場合、OLT と ONU での解釈の相違により、ギガビットの PON 帯域を効率的に使用できない状況が発生し得る。以下に例を挙げる。

(a) ONU#1 での REPORT

送信済みの Grant 枠を用いて送信されるデータを送いたホストを含む REPORT を生成。

(b) ONU#2 での REPORT

REPORT 送信時点でのキュー長を含む REPORT を生成。

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱にあたっては、著作権者とならないよう十分にご注意ください。

OLTでは、REPORTで通知されるキュー長に応じた
グラントを、次に送信するGATEにおいて割り当てる
こととする。その結果、図9に示すように、ONU#1に
対しては基盤に必要なだけのグラントを割り当てるこ
とができるが、図10に示すように、ONU#2に対して
は、キューに蓄積しているデータ量以上のグラントを
割り当てたり、キューが空であるにもかかわらずグラ
ントを割り当てたりすることになり、PON領域を効率的
に使用できない。

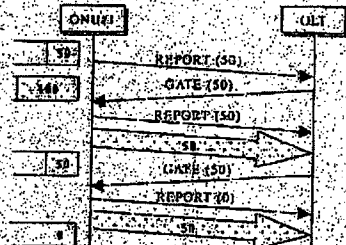


図9 ONU#1へのグラント割当

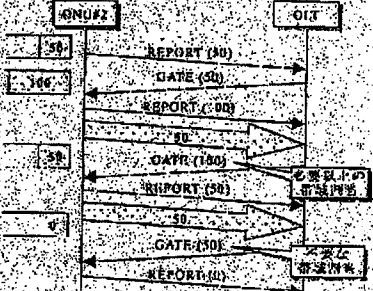


図10 ONU#2へのグラント割当

このように、PON領域を効率的に使用するためには、
ONU#1のMAC Control ClientにおけるREPORT生成方法
を修正し、OLT側のMAC Control Clientにおける
REPORT割当方法との整合を図る必要がある。

REPORT生成方法

- ・ 送信側のグラントを用いて送信されるデータ
量からキュー長を算出し、REPORTを生成する。
- ・ キュー長はG (Timer Backoff Gap) のMACフリ
ーズタイムを考慮する。

4.2.2. クラスキュー使用法

- (1) クラス化クラスキューの対応付けの決定

3.1で示したように、MPCPでは最大8つのクラスキ
ューを定義している。どのクラスのキューにどのよう

にリンクをマッピングするかは、EFM 標準では規定され
ない。このクラスキューの使い方にによって、同じア
プリケーションであっても異なるONUに対して同じ
品質を提供できない場合が考えられる。

MPCP制御フレームやOAMフレーム (Critical Link
イベント) に最優先で送られるが、その他のOAM
フレームやデータフレーム (これらには様々な品質を要
求するフレームが含まれる) をどのクラスにマッピン
グするかは指示については、規定が必要と考えられる。
この指示を規定した上で、所望の品質でサービスが提
供されているかを検証する必要がある。

(2) クラスキューがもたらす結果と影響

3.3で示したように、REPORTはクラスキューごとに
キュー長を通知するが、GATEで与えるグラントはク
ラスキューを指定することができない。与えられたク
ラントをどのクラスキューに使うかは、ONUに依存す
る。この観点からも、同一アプリケーションであって
も、異なるONUに対して同じ品質を提供できない可
能性がある。

4.2.3. セキュリティ

セキュリティの標準化作業は進展していないが、ONUの
Plug&Playおよびドメイン間を行き、GP-PONにおいて秘
匿性を確保するためには、セキュリティ機能が必要と
ある。GP-PONのセキュリティに対する当社の見解を
表3に示す。

表3 セキュリティに関する特許見解

項目	対応	当社の見解
認証	認証の管理	物理リンク
	認証の管理	物理リンク
暗号化	暗号化の管理	物理リンク
	暗号化の管理	物理リンク
暗号化	暗号化の管理	物理リンク
	暗号化の管理	物理リンク
暗号化	暗号化の管理	物理リンク
	暗号化の管理	物理リンク

5. おわりに

これまで述べたとおり、今後の進展を経て、セキュ
リティを含め、EFM 標準が固められるものになるとし
ても、特にエドリアン 1 の規格が要求される適用
分野において、GP-PONシステムを適用するためには、
EFMの範囲に及ばないシステムを構築した規定
が必要であることを示し、本課題を整理した。

参考文献

- (1) 中野、高田、マツコ、光通信ネットワークシステムの進
展動向、光通信、CS2002-134, pp.37-42, Nov. 2002
- (2) IEEE Draft 802.3ae/33.233, 2003
- (3) ANSI/IEEE Std 802.3d, 2003 Edition
- (4) <http://www.wicacn02.org/404tree/index.html>
- (5) 情報通信白書、平成19年版

本複製物は、特許庁が著作権法第42条第2項第1号の規定により複製したものです。
取扱いにあたっては、著作権侵害とならないよう十分にご注意ください。

複写される方へ

本誌に掲載された著作物（写真・図表）は、著作権法第42条第2項第1号の規定により複製されたものです。
複製は、権利者から複製の許可を受けている者のみが行うことができます。著作権法第42条第2項第1号
の複製は、権利者から複製の許可を受けている者のみが行うことができます。

〒100-0001 東京都千代田区千代田 1-1-1 日本郵政株式会社

TEL: 03-3475-5011 FAX: 03-3475-5619 E-mail: nakashima@mj.biglobe.ne.jp

※本誌に掲載された著作物（写真・図表）は、著作権法第42条第2項第1号の規定により複製されたものです。

Copyright Clearance Center, Inc.

222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA

Phone: 1-878-750-8401 FAX: 1-878-750-4744 E-mail: http://www.copyright.com

Notice about photocopying

In order to photocopy any work from this publication, you or your organization must obtain permission
from the following organization which has been delegated for copyright for clearance by the copyright
owner of this publication.

Except in the USA

Agent: Association for Copyright Clearance (JACC)

5-61 Akasaka Bldg., Minato-ku, Tokyo 107-0062 Japan

TEL: 03-3475-5011 FAX: 03-3475-5619 E-mail: nakashima@mj.biglobe.ne.jp

In the USA

Copyright Clearance Center, Inc. (CCC)

222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA

Phone: 1-878-750-8401 FAX: 1-878-750-4744 E-mail: http://www.copyright.com



電子情報通信学会技術研究報告

4177技報 No.153 No.124

2003年4月13日 発行

(EICE Technical Report)

電子情報通信学会 2003

Copyright © 2003 by the Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (EICE).

発行人 東京都港区芝公園3丁目5番8号 機械振興会館内

TEL 電子情報通信学会 事務局長 本間 昌明

発行所 東京都港区芝公園3丁目5番8号

TEL 電子情報通信学会 TEL: (03)3433-0694 FAX: (03)3433-0695
E-mail: eice@eice.org 郵政番号 100-0001

The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers,
Kikui-Shinko-Kaikan Bldg. 5-8, Shibakoen 3-chome, Minato-ku,
TOKYO, 105-0014 JAPAN

本技術研究報告に掲載された論文の著作権は（注）電子情報通信学会に帰属します

Copyright and reproduction permission. All rights are reserved
and no part of this publication may be reproduced or transmitted
in any form or by any means, electronic or mechanical, including
photocopy, recording or any information storage and retrieval system,
without permission in writing from the publisher. Notwithstanding,
instructors are permitted to photocopy isolated articles for
noncommercial classroom use without fee.